LES RÉFÉRENTIELS

La force centrifuge est encore aujourd'hui le concept le plus représentatif de l'esprit ''sécurité routière''. En 1999, un article publié dans la revue ''Formation & Sécurité'' démontrait qu'une telle force n'existe pas, n'a jamais existé, ne peut pas exister (dossier ADILCA ''*Mystérieux virage*'' à lire par ailleurs).

Cet article allait faire l'effet d'une bombe. Contre toute attente, il fut plutôt bien accueilli dans le milieu de l'éducation routière, les enseignants de la conduite faisant preuve pour l'occasion d'une remarquable ouverture d'esprit.

En revanche, dans les programmes officiels comme dans les ouvrages spécialisés, le dogme obligatoire continue de faire de la résistance et on entend parfois dire, ici ou là, qu'il ne s'agirait finalement que d'une simple question de référentiels…

Comment s'y retrouver ? Qui croire ? D'où vient la confusion et comment démêler le vrai du faux ? Bien sûr, il n'y a qu'une seule vérité. Voici les clés de l'imposture.

Syllogisme ou sophisme?

''*Un cheval bon marché est rare. Tout ce qui est rare est cher. Donc un cheval bon marché est cher.*''

Ce mode de raisonnement est un syllogisme. Dans cet exemple, l'absurdité de la conclusion provient d'une confusion entre deux systèmes de pensée, car ce qui est vrai dans l'un des systèmes ne l'est plus dans l'autre !

En physique, les systèmes de pensée, ce sont les référentiels !...

Définitions

Qu'est-ce qu'un référentiel ? Ce terme désigne un ensemble de repères qui permettent de mesurer les caractéristiques du mouvement d'une masse telles que la vitesse et la trajectoire.

Au delà de cette définition, le référentiel est un cadre rigide qui fixe les limites d'une étude, d'une observation ou d'un raisonnement. Pour le physicien, c'est un ensemble mathématique aux contours stricts et aux règles rigoureuses, l'équivalent du système de pensée pour le philosophe.

Qu'est-ce qu'une force ? Ce terme désigne toute cause capable de modifier la vitesse ou la trajectoire d'une masse.

La notion de force est donc étroitement liée à celle de référentiel. Mais quel référentiel choisir ?

Deux référentiels...

En automobile, on a le choix *a priori* entre le référentiel Terre et le référentiel voiture.

Attention ! Ce choix ne dépend pas du hasard, ni même des préférences de l'expérimentateur, mais uniquement de ce qu'il veut observer car, une fois arrêté, ce choix est exclusif, donc définitif. Il ne sera plus possible ensuite de mélanger les descriptions !

Voici les trois règles d'or à respecter pour faire le bon choix.

Première règle : savoir ce qu'on veut observer…

Les référentiels Terre et voiture ne sont pas équivalents, ils n'ont pas les mêmes limites, ni les mêmes propriétés : le mouvement, la vitesse ou la trajectoire d'une voiture, par exemple, ne sont observables que dans le référentiel Terre.

Dans le référentiel voiture, ces grandeurs n'ont pas de sens, elles n'existent pas. Il faut donc savoir ce qu'on veut observer et faire le choix en conséquence.

Résumons :

- le référentiel Terre permet de décrire non seulement le mouvement de la voiture, mais aussi le mouvement de tout ce qu'elle contient (passagers, bagages…), c'est ce qu'on appelle un *référentiel général* (*) ;

- le référentiel voiture se limite aux contours de la carrosserie, il ne permet pas de décrire le mouvement de la voiture, mais uniquement le mouvement de ce qu'elle contient (passagers, bagages…), c'est ce qu'on appelle un *référentiel restreint* (**).

Deuxième règle : choisir le bon poste d'observation…

Dans le référentiel Terre, l'expérimentateur est posté quelque part à l'extérieur de la voiture. Immobile par rapport à la Terre, il observe non seulement le mouvement de la voiture, mais aussi tout ce qui se passe à l'intérieur.

Le poste d'observation idéal du référentiel Terre se situe à bord d'un hélicoptère en vol stationnaire au dessus de la route. La voiture doit être équipée d'un large toit

transparent ou découvert, de sorte qu'aucun phénomène affectant par exemple les passagers et les bagages ne puisse être ignoré.

Dans le référentiel voiture, l'expérimentateur est installé dans l'habitacle et observe uniquement ce qui se passe à l'intérieur. Attention ! Tout référentiel restreint doit être considéré comme un système isolé, indépendant et dénué de toute influence ou référence extérieure, tel un espace clos, immobile et sans fenêtres. Autrement dit, dans ce genre de référentiel, l'expérimentateur doit être privé de tout repère relatif au mouvement de la voiture.

C'est pourquoi, afin d'éviter que certaines perceptions ou sensations n'interfèrent avec les phénomènes observés, le poste d'observation idéal du référentiel voiture se situe devant un écran de télévision diffusant les images d'une caméra embarquée.

Troisième règle : ne jamais mélanger les descriptions…

Les référentiels Terre et voiture sont des ensembles qui ne sont pas symétriques, ni même complémentaires. Par conséquent il est strictement interdit de les permuter ou de les superposer. En langage mathématique, on dit que leur relation est inclusive mais non réciproque.

Plus simplement, ils sont comme une bouteille et un verre. Le contenu du verre loge dans la bouteille, mais pas l'inverse. La contenance du verre ne donne aucun renseignement sur celle de la bouteille. Attention donc ! Une fois les observations faites, gare aux conclusions erronées…

Un exemple à méditer…

Ces trois règles sont déterminantes, ainsi que le démontre l'exemple suivant.

Considérons une voiture qui circule à 130 km/h sur une autoroute : la vitesse du conducteur ceinturé sur son siège est de 130 km/h dans le référentiel Terre, elle est strictement égale à 0 dans le référentiel voiture !

On voit bien que les deux descriptions sont distinctes, complètement antagonistes même, et qu'il n'est pas question de les mélanger.

Le problème du virage...

Quelle est la description correcte des phénomènes lorsque la voiture décrit une trajectoire circulaire ? Quelles sont les forces qui s'exercent alors sur la voiture ?

Répétons d'abord qu'une force désigne toute cause capable de modifier la vitesse ou la trajectoire d'une masse, puisque telle est la définition officielle retenue pour l'élaboration du Système International d'Unités, obligatoire en France depuis 1961.

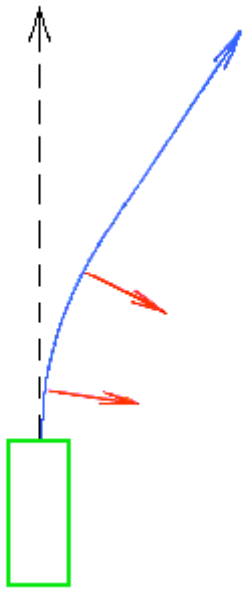
Considérons une voiture qui circule en ligne droite et dont le conducteur s'apprête à négocier un virage.

Dans le référentiel Terre, la trajectoire naturelle de la voiture est une ligne droite. Pour dévier cette trajectoire, le conducteur doit solliciter une force transversale qui s'exerce au contact du sol lorsque les roues directrices pivotent, c'est la *force de guidage*.

Tandis que la voiture s'inscrit sur une trajectoire circulaire, les passagers et les bagages conservent une trajectoire rectiligne jusqu'au moment où la force de guidage leur est communiquée par contact avec le siège, la portière ou la carrosserie.

Si la vitesse est constante, si on néglige la gravitation, la résistance de l'air et la résistance au roulement, la force de guidage est à ce moment-là la seule et unique force qui s'exerce sur la voiture, ses passagers et leurs bagages.

Telle est la description publiée pour la première fois en 1999 dans la revue ''Formation & Sécurité''. Il n'y a rien à ajouter, rien à retrancher, rien à modifier.



La trajectoire de la voiture est rectiligne par nature (pointillés). Pour dévier cette trajectoire, le conducteur doit solliciter une force transversale (flèche rouge) qui s'exerce au contact du sol lorsque les roues directrices pivotent, c'est la force de guidage. Dès que cette force cesse d'agir, la trajectoire redevient rectiligne (flèche bleue).

Le même... vu de l'intérieur!

Dans le référentiel voiture, les images de la caméra embarquée montrent que les passagers et les bagages s'animent d'un *mouvement apparent* qui les amène au contact de la carrosserie. C'est la seule observation possible. La description s'arrête là, obligatoirement, car telles sont les limites de ce référentiel.

Et comme il n'y a pas de mouvement sans cause, c'est à dire sans force, et qu'il est absolument impossible de faire la moindre référence à ce qui se passe à l'extérieur de la voiture, les physiciens ont inventé le concept de *force apparente* pour expliquer ce mouvement.

Cette force apparente, unique et fictive, est supposée s'exercer sur le centre de gravité de chacun des passagers et des bagages, elle ne peut apparaître que dans un référentiel restreint et ne peut concerner que les passagers et les bagages, rien d'autre.

Appellation non contrôlée...

Cette force apparente, c'est la *force centrifuge* ! Elle a été baptisée ainsi par certains théoriciens zélés, mais cette appellation est totalement incorrecte. En effet, centrifuge signifie ''*qui éloigne du centre*'', allusion explicite à la trajectoire circulaire de la voiture.

Or, dans le référentiel voiture, cette trajectoire n'existe pas, il n'est donc pas possible de la prendre en compte. Toute allusion à la vitesse ou à la trajectoire de la voiture implique de raisonner dans le référentiel Terre.

Mais dans le référentiel Terre, c'est la force apparente qui n'existe pas ! Choisir un référentiel est donc bien un choix exclusif et les deux systèmes ne peuvent coexister.

Une grave confusion...

De la confusion des mots à la confusion des référentiels, il n'y a qu'un pas.

''*La force apparente s'exerce sur les passagers et les bagages. Les passagers et les bagages sont installés dans la voiture. La force apparente s'exerce donc forcément aussi sur la voiture !…*''.

Ce syllogisme à la conclusion erronée provient de la confusion entre le référentiel Terre et le référentiel voiture qui sont pourtant deux univers indépendants. Or il est strictement impossible de transposer ou de superposer les descriptions en passant d'un système à l'autre, cela reviendrait à décrire des forces qui n'existent pas.

La force observée *dans* la voiture ne peut en aucun cas s'exercer *sur* la voiture.

...aux conséquences catastrophiques !

Cette confusion est à l'origine du concept de force centrifuge, dogme fondateur de l'esprit ''sécurité routière''. ''*Un cheval bon marché est cher, vraiment très cher !…*'' s'oblige-t-on à répéter dans le monde de l'automobile, depuis des lustres, et de la manière la plus officielle qui soit...

Épilogue

Le concept de force centrifuge relève d'une double confusion de mots et de référentiels. Même dans un référentiel restreint, la force centrifuge n'est qu'une force fictive sans existence réelle. Désormais, nul ne l'ignore ou n'est censé l'ignorer.

''*Un cheval bon marché n'est vraiment pas cher du tout !*...'' Qu'on se le dise !

(*) *On dit aussi* ''référentiel absolu'', ''galiléen'' *ou* ''inertiel''. *Contrairement à une erreur largement répandue, la Terre est un référentiel parfaitement galiléen, donc parfaitement inertiel et absolu pour l'étude du mouvement d'une voiture (à l'effet Coriolis près !), alors qu'elle ne l'est plus pour l'étude du mouvement des planètes du système solaire (voir dossier ADILCA* ''système solaire''*). Tout dépend donc de ce que l'on souhaite étudier : décrire le mouvement d'un véhicule terrestre par rapport au Soleil n'aurait aucun sens !*

(**) *On dit aussi* ''référentiel relatif'', ''non galiléen'' *ou* ''non inertiel''. *Les définitions qui s'y rapportent sont toutes plus tarabiscotées les unes que les autres, rarement assorties d'un mode d'emploi ou illustrées d'exemples ! Mais, quelle que soit l'appellation, la règle reste toujours la même : ça signifie que la voiture décrit une trajectoire circulaire de façon permanente, naturelle et invariable, comme par miracle, échappant ainsi aux lois de Newton. Dès lors, il est interdit de rechercher les causes de ce mouvement, puisqu'il s'agit d'un miracle ! D'où un certain nombre de confusions ou d'erreurs, y compris dans certains ouvrages de physique.*

ASSOCIATION ADILCA

www.adilca.com

*** * ***